

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

A3

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: **10081935 A**

(43)Date of publication of application: **31.03.98**

(51)Int. Cl **C22C 38/00**  
**C22C 38/48**  
**F01D 5/02**

(21)Application number: **08233245**

(22)Date of filing: **03.09.96**

(71)Applicant: **JAPAN CASTING & FORGING CORP**  
**mitsubishi heavy ind ltd**

(72)Inventor: **MORINAKA KOUJI**  
**OKAMURA YOSHIHIRO**  
**KAMATA MASATOMO**  
**FUJITA AKIJI**

(54)**HEAT RESISTANT LOW ALLOY STEEL AND  
STEAM TURBINE ROTOR**

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a new heat resistant low alloy steel which is an inexpensive low alloy type heat resistant steel easy of manufacture and has toughness equal to or higher than the conventional CrMoV steel and also has high temp. strength characteristic and also to provide a team turbine rotor for high temp. use, constituted of this new heat

resistant steel.

SOLUTION: This heat resistant low alloy steel has a composition consisting of, by weight, 0.15-0.35% carbon, 0.005-0.35% silicon, 0.1-1.0% manganese, 0.8-2.5% chromium, 0.1-0.3% (not including 0.3%) nickel, 0.05-0.3% vanadium, 0.01-0.15% niobium, 0.1-1.5% molybdenum, 0.1-2.5% tungsten, and the balance iron with inevitable impurities.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-81935

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月31日

(51) IntCl. <sup>4</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 1		C 2 2 C 38/00	3 0 1 A
			38/48	
F 0 1 D 5/02			F 0 1 D 5/02	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平8-233245

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月3日

(71) 出願人 580005715

日本鑄鍛鋼株式会社

東京都千代田区九段南4丁目7番15号

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 守中 康治

福岡県北九州市戸畑区大字中原先ノ浜46番

地59 日本鑄鍛鋼株式会社内

(72) 発明者 岡村 義弘

福岡県北九州市戸畑区大字中原先ノ浜46番

地59 日本鑄鍛鋼株式会社内

(74) 代理人 弁理士 内田 明 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低合金耐熱鋼及び蒸気タービンロータ

(57) 【要約】

【課題】 製造が容易で安価な低合金系の耐熱鋼であって、従来材のCrMoV鋼に比べて同等以上の靱性を有し、かつ高温強度特性に優れた新しい低合金耐熱鋼及びこの新耐熱鋼で構成される高温用蒸気タービンロータを提供すること。

【解決手段】 重量%で炭素：0.15～0.35%、ケイ素：0.005～0.35%、マンガン：0.1～1.0%、クロム：0.8～2.5%、ニッケル：0.1～0.3% (0.3%を含まず)、バナジウム：0.05～0.3%、ニオブ：0.01～0.15%、モリブデン：0.1～1.5%、タングステン：0.1～2.5%を含み、残部が不可避免の不純物及び鉄からなることを特徴とする低合金耐熱鋼及びそれを用いた蒸気タービンロータ。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で炭素：0.15～0.35%、ケイ素：0.005～0.35%、マンガン：0.1～1.0%、クロム：0.8～2.5%、ニッケル：0.1～0.3%（0.3%を含まず）、バナジウム：0.05～0.3%、ニオブ：0.01～0.15%、モリブデン：0.1～1.5%、タングステン：0.1～2.5%を含み、残部が不可避的不純物及び鉄からなることを特徴とする低合金耐熱鋼。

【請求項2】 ニオブの全部と鉄の一部を、マンガン及び／又はモリブデンで置換し、マンガン及び／又はモリブデンの含有量が、重量%でマンガン：1.0（1.0%を含まず）～1.5%、モリブデン：1.5（1.5%を含まず）～2.5%の範囲にあり、不純物元素として含まれるものを除いてはニオブを含まないことを特徴とする請求項1に記載の低合金耐熱鋼。

【請求項3】 マンガン及び／又はニッケルを鉄で置換し、不純物元素として含まれるものを除いてはマンガン及び／又はニッケルを含まないことを特徴とする請求項1に記載の低合金耐熱鋼。

【請求項4】 ニオブを鉄で置換し、不純物元素として含まれるものを除いてはニオブを含まないことを特徴とする請求項3に記載の低合金耐熱鋼。

【請求項5】 鉄の一部を窒素、ホウ素、タンタルのいずれか1種以上で置換し、重量%で窒素：0.01～0.05%、ホウ素：0.001～0.015%、タンタル：0.01～0.15%のいずれか1種以上を含有することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の低合金耐熱鋼。

【請求項6】 請求項1～5のいずれかに記載の低合金耐熱鋼で構成されてなることを特徴とする蒸気タービンロータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は耐熱構造部材、特に火力発電用蒸気タービンロータ材として優れた性能を示す低合金耐熱鋼及びそれを用いた蒸気タービンロータに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、火力発電用蒸気タービンプラントに用いられている高温用ロータ材の例としては、低合金系のCrMoV鋼や高Cr系の12Cr鋼が挙げられる。このうちCrMoV鋼は高温強度の限界から566℃までの蒸気温度のプラントに制限され、しかも蒸気温度によっては、ロータを冷却する必要があり構造が複雑になる。一方、12Cr鋼製のロータ材（例えば特開昭60-165359号公報、特開昭62-103345号公報など）は高温強度がCrMoV鋼よりも優れているため、最高600℃程度の蒸気温度のプラントに適用することも可能であるが、素材の製造が難しく高コスト

になる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 本発明はこのような従来技術の実状に鑑み、製造が容易で安価な低合金系の耐熱鋼であって、従来材のCrMoV鋼に比べて同等以上の靱性を有し、かつ高温強度特性に優れた新しい低合金耐熱鋼及びこの新耐熱鋼で構成される高温用蒸気タービンロータを提供するものである。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明者らは前記課題を解決すべく、CrMoV鋼を基本成分として合金元素の厳選を行って高温強度の改善を鋭意行い、靱性が高くかつ優れた高温特性を有する新しい高温用蒸気タービンロータ材を見出した。すなわち、本発明は次の（1）～（6）の発明を含むものである。

【0005】（1）重量%で炭素：0.15～0.35%、ケイ素：0.005～0.35%、マンガン：0.1～1.0%、クロム：0.8～2.5%、ニッケル：0.1～0.3%（0.3%を含まず）、バナジウム：0.05～0.3%、ニオブ：0.01～0.15%、モリブデン：0.1～1.5%、タングステン：0.1～2.5%を含み、残部が不可避的不純物及び鉄からなることを特徴とする低合金耐熱鋼。

【0006】（2）ニオブの全部と鉄の一部を、マンガン及び／又はモリブデンで置換し、マンガン及び／又はモリブデンの含有量が、重量%でマンガン：1.0（1.0%を含まず）～1.5%、モリブデン：1.5（1.5%を含まず）～2.5%の範囲にあり、不純物元素として含まれるものを除いてはニオブを含まないことを特徴とする前記（1）の低合金耐熱鋼。

【0007】（3）マンガン及び／又はニッケルを鉄で置換し、不純物元素として含まれるものを除いてはマンガン及び／又はニッケルを含まないことを特徴とする前記（1）の低合金耐熱鋼。

（4）ニオブを鉄で置換し、不純物元素として含まれるものを除いてはニオブを含まないことを特徴とする前記（3）の低合金耐熱鋼。

【0008】（5）鉄の一部を窒素、ホウ素、タンタルのいずれか1種以上で置換し、重量%で窒素：0.01～0.05%、ホウ素：0.001～0.015%、タンタル：0.01～0.15%のいずれか1種以上を含有することを特徴とする前記（1）～（3）のいずれかの低合金耐熱鋼。

【0009】（6）前記（1）～（5）のいずれかに記載の低合金耐熱鋼で構成されてなることを特徴とする蒸気タービンロータ。

## 【0010】

【発明の実施の形態】 以下に前記発明（1）における各成分範囲の限定理由を述べる。

炭素：炭素は、熱処理時の焼入れ性を確保するとともに

材料強度を高める効果がある。また、炭化物を形成して高温におけるクリープ破断強度の向上に寄与する。本合金系では0.15%未満の添加では十分な材料強度が得られないため、下限値を0.15%とする。一方、炭素の添加量が多すぎると靱性が低下し、かつ、高温での使用中に炭窒化物が凝集粗大化して、高温長時間クリープ破断強度を劣化させる。そのため添加量の上限を0.35%とする。材料強度特性と優れた靱性を兼ね揃えるために特に望ましい範囲は0.2~0.3%である。

【0011】ケイ素：ケイ素は脱酸材としての効果がある反面、基地を脆化させる元素である。脱酸効果を十分に期待する場合、最大0.35%までの添加を許容するが、本発明材の製造において、製鋼過程での真空カーボン脱酸法を適用する場合は、特にケイ素による脱酸効果をさほど期待しなくてもよく、添加量を最小限度にとどめることが可能となる。ただし、極端にケイ素量を低くするためには原料の厳選が必要となりコストが上昇するため、下限を0.005%とする。よってケイ素の成分範囲を0.005~0.3%とする。望ましい範囲は、0.005~0.05%であるが、この場合は真空カーボン脱酸法を採用することを前提とする。

【0012】マンガン：マンガンは脱酸材として作用するとともに鍛造時の熱間割れを防止するのに有効な元素である。また、熱処理時の焼入れ性を高める作用がある。しかし、マンガンを加えるとその量に応じてクリープ破断強度が劣化するため添加の最大量を1.0%とした。ただし、含有量を0.1%未満に制御するためには、原料鋼の厳選と過度の精錬工程が必要となりコスト高を招くため、最低量を0.1%に設定している。

【0013】クロム：クロムは熱処理時の焼入れ性を高めるとともに炭化物及び／又は炭窒化物を形成してクリープ破断強度の改善に寄与し、かつマトリックス中に溶け込んで耐酸化性を改善する。またマトリックス自体を強化することでもクリープ破断強度の向上に寄与する。0.8%未満であるとその効果が十分でなく、2.5%を超える量を添加すると本合金系ではクリープ破断強度が低下する傾向にある。したがって、添加範囲を0.8~2.5%とする。望ましい範囲は1.2~1.6%である。

【0014】ニッケル：ニッケルは熱処理時の焼入れ性を高め、引張強さや耐力を向上させるほか、特に靱性を高めるのに有効である。しかしその反面、長時間クリープ破断強度はニッケル添加により低下する。本発明合金の特徴の一つは、ニッケル添加による焼入れ性や靱性向上を期待せず、逆に長時間クリープ破断強度に及ぼすニッケルの悪影響を排除することを目的に、ニッケル含有量の上限を長時間クリープ破断強度に及ぼす悪影響が極端には現れない0.3%未満に制限している点である。長時間クリープ破断強度を最重視する場合、ニッケル含有量は低いほど望ましいが、0.1%未満に抑制するた

めには原料の厳選が必要となりコストが上昇するため、下限を0.1%とする。

【0015】バナジウム：バナジウムは熱処理時の焼入れ性を高めるとともに炭化物及び／又は炭窒化物となってクリープ破断強度を改善する。0.05%未満では十分な効果が得られない。また、逆に0.3%を超える量を添加するとむしろクリープ破断強度は低下してしまう。このため、成分範囲を0.05~0.3%とする。

【0016】ニオブ：ニオブは焼入れ性を高めるとともに炭化物及び／又は炭窒化物を形成して高温強度の改善に寄与する。また、高温加熱時の結晶粒成長を適度に抑制し、組織の均質化に寄与する。添加量が0.01%未満ではその効果はなく、また0.15%を超える量を添加すると、鋼塊製造時に生成したニオブの炭化物あるいは炭窒化物が熱処理（溶体化処理）時にマトリックスに十分に固溶できず、使用中に粗大化して長時間のクリープ破断強度を低下させる。そこで成分範囲を0.01%~0.15%に限定する。

【0017】モリブデン：モリブデンは熱処理時の焼入れ性を高めるとともにマトリックス中や炭化物及び／又は炭窒化物中に固溶してクリープ破断強度を改善する。添加量が0.1%未満であれば顕著な効果は期待されない。一方、多量に添加すると靱性が低下するとともにコスト高を招くために、添加量の上限を1.5%に制限している。

【0018】タングステン：タングステンはマトリックス中や炭化物中に固溶してクリープ破断強度を改善する。添加量が0.1%未満であれば顕著な効果は期待されない。一方、過剰に添加すると偏析する恐れがあり、またフェライト相が出現、増加するため添加量の上限を2.5%に制限している。望ましい添加量は1.0%~2.0%である。

【0019】次に、前記発明（2）における成分限定理由を述べる。なお、前述の発明（1）に関する説明で既に述べた成分については限定理由は同じなので、ここでは、ニオブを無添加とした理由及びマンガン、モリブデンの成分限定理由について説明する。

【0020】ニオブ：ニオブは発明（1）の説明で述べたように重要な役割を有する元素であるが、発明（1）の範囲内の添加量でも、他の強化元素添加量との兼ね合いや、鋼塊の製造や鍛造、熱処理工程での微妙な温度差などにより、得られた素材の靱性が異常に低下したり、クリープ破断特性において切欠弱傾向が現れる危険性がある。そこでこのような危険性を回避するために、発明（1）における成分系からニオブを排除した点が本発明（2）の特徴である。しかし、ニオブを排除した結果、焼入れ性や高温強度特性の低下あるいは高温加熱時の結晶粒成長に起因した局所的な高温強度低下が懸念される。そこでこれらの点を補うため、マンガン及び／又はモリブデンの添加量を増し、マンガン及び／又はモリ

ブデンの含有量が重量%でマンガン：1.0（1.0%含まず）～1.5%、モリブデン：1.5（1.5%含まず）～2.5%となるようにしている。

【0021】マンガン：マンガンは、主として焼入れ性不足分を補うための添加であり、その分高温強度特性や靱性を若干犠牲にしている。最低添加量を発明（1）の上限値とし、最大添加量を1.5%としている。最大添加量を1.5%としたのは、これ以上の添加では高温強度特性や靱性の低下が大きすぎるためである。

【0022】モリブデン：モリブデンは、焼入れ性及び高温強度特性不足を補うために添加するものであり、その分コストの上昇や靱性の低下を若干容認している。最低添加量を発明（1）の上限値とし、最大添加量を2.5%としている。最大添加量を2.5%としたのは、これ以上の添加では靱性の低下が大きすぎるためである。

【0023】次に、前記発明（3）における成分限定理由を述べる。マンガン、ニッケル以外の元素については発明（1）の場合と同じであるのでここでは省略し、マンガン及び／又はニッケルを排除する目的及び作用についてのみ説明する。

【0024】マンガン：マンガンは脱酸材として作用するとともに鍛造時の時間割れを防止するのに有効な元素である。また、熱処理時の焼入れ性を高める作用がある。しかし、マンガンを加えるとその量に応じてクリープ破断強度が劣化する。含有量を0.1%以下に制御するためには、原料鋼の厳選と過度の精錬工程が必要となりコスト高を招くが、コストの上昇をあえて許容し、かつ、マンガン添加によるその他の利点も期待せず、クリープ破断強度の確保を最重点に考えてマンガンを排除した点に本発明（3）の新規性がある。

【0025】ニッケル：ニッケルは熱処理時の焼入れ性を高め、引張強さや耐力を向上させるほか、特に靱性を高めるの有効である。しかし、ニッケルを加えるとその量に応じてクリープ破断強度が劣化する。含有量を0.1%以下に制御するためには、原料鋼の厳選と過度の精錬工程が必要となりコスト高を招くが、コストの上昇をあえて許容し、かつ、ニッケル添加によるその他の利点も期待せず、クリープ破断強度の確保を最重点に考えてニッケルを排除した点に本発明（3）の新規性がある。

【0026】次に、前記発明（4）における成分限定理由を述べる。ニオブ以外の元素については前記発明（1）及び（3）と同じであるのでここでは省略し、ニオブを排除する目的及び作用についてのみ説明する。

ニオブ：ニオブは発明（1）の説明で述べたように重要な役割を有する元素であるが、発明（1）の範囲内の添加量でも、他の強化元素添加量との兼ね合いや、鋼塊の製造や鍛造、熱処理工程での微妙な温度差などにより、得られた素材の靱性が異常に低下したり、クリープ破断特性において切欠弱化傾向が現れる危険性がある。そこでこのような危険性を回避するために、クリープ破断強

度を若干犠牲にして、発明（3）における成分系からニオブを排除した点が本発明（4）の特徴である。

【0027】次に、前記発明（5）における成分限定理由を述べるが、窒素、タンタル、ホウ素以外の元素については発明（1）～（4）と同じであるのでここでは省略し、特に窒素、タンタル、ホウ素を添加する目的及び作用についてのみ説明する。

窒素：窒素は炭素や合金元素とともに炭窒化物を形成して高温強度の改善に寄与する。0.01%未満では十分な炭窒化物を形成することができないために、クリープ破断強度への寄与が十分に得られない。また0.05%を超える量を添加すると、長時間側で炭窒化物が凝集粗大化して、十分なクリープ破断強度を得ることができなくなる。また、靱性の低下も引き起こす。このため、0.01～0.05%とする。

【0028】タンタル：タンタルはニオブと同じく炭窒化物を形成して高温強度の改善に寄与する。また、高温で析出する炭化物及び／又は炭窒化物を微細にして長時間クリープ破断強度の改善に寄与する。添加量が0.01%未満ではその効果はなく、また0.15%を超える量を添加すると、鋼塊製造時に生成したタンタルの炭化物及び／又は炭窒化物が熱処理（溶体化処理）時にマトリックスに十分に固溶できず、使用中に粗大化して長時間のクリープ破断強度を低下させる。そこで成分範囲を0.01%～0.15%に限定する。

【0029】ホウ素：ホウ素は焼入れ性を高めるとともに粒界強度を高くする作用がある。このため、クリープ破断強度の改善に寄与する。しかし、過剰に添加するとかえって焼入れ性が低下したり、靱性が低下するといった悪影響が現れる。したがって、実際に添加量を制御できる最低量の0.001%を下限値とし、上限値を悪影響が現れない0.015%とする。望ましい範囲としては0.002～0.006%である。

【0030】以上説明した発明（1）～（5）の低合金耐熱鋼は、従来材のCrMoV鋼に比べて同等以上の靱性を有し、かつ高温強度特性に優れた新しい低合金耐熱鋼であり、特に高温用蒸気タービンロータ材として優れた性能を有している。

【0031】

【実施例】以下実施例により本発明をさらに具体的に説明する。各実施例において、全ての材料は、50kg真空高周波溶解炉にて溶製し、加熱温度：1200℃にて鍛造を行った。各種試験に用いた試験材熱処理は、胴径1200φのロータを油冷したときの中心部を模擬した焼入れ処理を行い、次いで焼戻しは0.2%耐力がおおよそ70±2kgf/mm<sup>2</sup>になるように各材料の焼戻し温度を決めて行った。ただし、実施例1における一部の比較材では、目標の0.2%耐力を得られないものがあった。

【0032】（実施例1）表1に試験に供した材料の化

学成分を示す。試料番号1～8が発明(1)に係る本発明材、試料番号9～14が比較材に相当する。表2に本発明材及び比較材の機械的性質及びクリーブ破断特性を示す。比較材のうち、試料番号9及び10は十分に焼きが入らず、焼戻し温度を下げて目標の0.2%耐力に到達しなかった鋼種である。

【0033】シャルピー衝撃吸収エネルギー(常温試験)は、本発明材、比較材を問わず、炭素含有量の影響が強く現れており、高炭素材ほど低い値を示している。しかし、本発明材のシャルピー衝撃吸収エネルギーは、いずれも3.7kgf-m以上の値を示しており、タービンロータ材としての使用を考えた場合、十分に高い衝撃値を確保できていることがわかる。600℃で15kgf/mm<sup>2</sup>の荷重を負荷した場合のクリーブ破断時間に着目すると、本発明材は比較材を大幅に上回る破断時間を示しており、クリーブ破断特性が十分に高いことがわかる。以上のことは、本発明材における各種元素の適切な成分設計が靱性の確保とクリーブ破断強度の向上に有効であったことを示している。

【0034】(実施例2)表3に試験に供した発明(2)に係る本発明材の化学成分を、表4に機械的性質及びクリーブ破断特性を示す。試料番号15～18の試験材の特性を表2に示した発明(1)に係る本発明材の特性と比較すると、シャルピー衝撃吸収エネルギー(常温試験)は同一炭素量レベルで比較して若干低め、600℃で15kgf/mm<sup>2</sup>の荷重を負荷した場合のクリーブ破断時間もいくぶん短めであるが、それでも表2の比較材に比べて優れた特性を有していることがわかる。以上のことは、発明(1)の成分系において制御が難しいニオブを添加しない材料でも、マンガンやモリブデンの適切な添加によって、適度な靱性、クリーブ破断強度を確保できることを示している。

【0035】(実施例3)表5に試験に供した発明(3)に係る本発明材の化学成分を示す。試料番号19は実施例1で用いた試料番号2の鋼の成分をベースとした発明(3)に係る本発明材、試料番号20、21、22は実施例1で用いた試料番号5の鋼の成分をベースとした発明(3)に係る本発明材である。

【0036】表6に発明(3)に係る本発明材の機械的性質及びクリーブ破断特性を示す。本発明材のシャルピー衝撃値吸収エネルギー(常温試験)はベース材とほぼ同レベルにある。かつ、600℃で15kgf/mm<sup>2</sup>の荷重を負荷した場合のクリーブ破断時間に着目すると、発明(3)に係る本発明材は実施例1のベース材に比べて確実に破断時間がのびていることがわかる。以上のことは、発明(1)の組成の低合金耐熱鋼のマンガン

及び/又はニッケルを鉄で置換することで、クリーブ破断強度がより一層向上することを示している。

【0037】(実施例4)表7に試験に供した発明(4)に係る本発明材の化学成分を示す。試料番号23は実施例3で用いた試料番号19の鋼の成分をベースとした発明(4)に係る本発明材(試料番号19のベース材は実施例1の試料番号2の鋼)、試料番号24、25、26はそれぞれ実施例3で用いた試料番号20、21、22の鋼の成分をベースとした発明(4)に係る本発明材(試料番号20、21、22のベース材は実施例1の試料番号5の鋼)である。

【0038】表8に発明(4)に係る本発明材の機械的性質及びクリーブ破断特性を示す。発明(4)に係る本発明材のシャルピー衝撃値吸収エネルギー(常温試験)はベース材とほぼ同レベルにある。かつ、600℃で15kgf/mm<sup>2</sup>の荷重を負荷した場合のクリーブ破断時間に着目すると、発明(4)に係る本発明材の破断時間は、実施例3のベース材に比べて若干短くなっている。しかし実施例1の試料番号2、5の鋼に比べると破断時間は長いことがわかる。以上のことは、発明(3)の組成の材料において、制御が難しいニオブを添加しない材料でも、適度な靱性、クリーブ破断強度を確保できることを示している。

【0039】(実施例5)表9に試験に供した発明(5)に係る材料の化学成分を示す。試料番号27、28は実施例1の試料番号2の鋼の成分をベースとした発明(5)に係る本発明材、試料番号29、30は実施例1の試料番号5の鋼の成分をベースとした発明(5)に係る本発明材、試料番号31、32、33、34及び35はそれぞれ実施例2の試料番号16、実施例2の試料番号18、実施例3の試料番号21、実施例3の試料番号22及び実施例4の試料番号26の鋼の成分をベースとした発明(5)に係る本発明材である。

【0040】表10に発明(5)に係る本発明材の機械的性質及びクリーブ破断特性を示す。発明(5)に係る本発明材のシャルピー衝撃値吸収エネルギー(常温試験)はベース材とほぼ同レベルにある。かつ、600℃で15kgf/mm<sup>2</sup>の荷重を負荷した場合のクリーブ破断時間に着目すると、発明(5)に係る本発明材はベース材に比べて確実に破断時間がのびていることがわかる。以上のことは、発明(1)～(4)の組成の低合金耐熱鋼の鉄の一部を、窒素、ホウ素、タンタルのいずれか1種以上で適切に置換することで、クリーブ破断強度がより一層向上することを示している。

【0041】

【表1】

10

20

30

40

9  
表1 実施例1で用いた試験材の化学成分(重量%)

	試料番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Fe
本発明材	1	0.17	0.24	0.85	0.21	1.98	1.43	2.41	0.20	0.08	残り
	2	0.18	0.18	0.87	0.20	2.45	1.01	1.98	0.27	0.05	残り
	3	0.20	0.08	0.51	0.18	1.49	0.98	1.51	0.15	0.09	残り
	4	0.25	0.04	0.20	0.12	1.42	0.98	1.99	0.14	0.11	残り
	5	0.26	0.05	0.20	0.22	1.45	0.51	2.39	0.22	0.07	残り
	6	0.31	0.03	0.12	0.13	1.20	1.03	1.82	0.18	0.07	残り
	7	0.33	0.04	0.53	0.20	1.37	1.45	0.59	0.23	0.04	残り
	8	0.33	0.23	0.76	0.28	0.99	1.02	0.98	0.23	0.05	残り
比較材	9	0.09	0.23	0.85	0.23	0.68	0.52	1.49	0.45	0.09	残り
	10	0.10	0.18	0.20	0.18	2.95	0.49	2.03	0.05	0.25	残り
	11	0.25	0.68	0.91	0.95	1.30	1.42	-	0.51	0.07	残り
	12	0.25	0.05	0.53	1.52	2.36	1.00	-	-	0.23	残り
	13	0.33	0.08	0.60	2.74	2.90	-	1.80	0.21	0.08	残り
	14	0.41	0.07	0.55	0.47	0.68	0.48	1.50	0.05	0.04	残り

\* \* 【表2】

【0042】

表2 実施例1における試験材の機械的特性及びクリープ破断特性

	試料番号	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	シャルピー 衝撃吸収 エネルギー (kgf-m)	600℃- 15kgf/mm <sup>2</sup> クリープ破断時間 (h)
本発明材	1	69.4	8.1	4908
	2	68.8	6.9	5041
	3	69.5	7.2	4607
	4	70.2	7.0	5816
	5	68.3	6.3	6059
	6	70.8	5.6	5483
	7	69.3	3.7	4825
	8	71.0	4.0	5112
比較材	9	61.7	18.6	2763
	10	62.8	15.2	3030
	11	71.9	5.9	2407
	12	69.5	5.0	1633
	13	69.3	4.2	2165
	14	70.2	1.1	3168

※40※ 【表3】

【0043】

表3 実施例2で用いた試験材の化学成分(重量%)

試料番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Fe
15	0.26	0.05	1.21	0.19	1.40	0.50	2.36	0.20	-	残り
16	0.26	0.08	0.48	0.21	1.42	2.05	1.36	0.21	-	残り
17	0.24	0.17	0.48	0.21	1.40	1.75	1.80	0.24	-	残り
18	0.25	0.08	1.18	0.21	1.42	2.05	1.36	0.24	-	残り

【0044】

50 【表4】

表4 実施例2における試験材の機械的特性及びクリープ破断特性

試料番号	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	シャルピー- 衝撃吸収 エネルギー (kgf-m)	600℃- 15kgf/mm <sup>2</sup> クリープ破断時間 (h)
15	69.4	4.2	4667
16	68.5	5.2	5023
17	71.0	5.9	4890
18	69.9	4.0	4754

【0045】

\* \* 【表5】

表5 実施例3で用いた試験材の化学成分(重量%)

試料 番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Fe
19	0.18	0.21	-	-	2.44	1.04	1.92	0.26	0.06	残り
20	0.25	0.05	-	0.23	1.48	0.55	2.37	0.24	0.08	残り
21	0.25	0.05	0.19	-	1.47	0.54	2.37	0.24	0.08	残り
22	0.26	0.05	-	-	1.47	0.54	2.41	0.22	0.07	残り

【0046】

※20※ 【表6】

表6 実施例3における試験材の機械的特性及びクリープ破断特性

試料番号	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	シャルピー- 衝撃吸収 エネルギー (kgf-m)	600℃- 15kgf/mm <sup>2</sup> クリープ破断時間 (h)
19	70.4	6.6	6236
20	68.8	6.2	6931
21	69.0	6.5	6743
22	71.2	6.0	7204

【0047】

★ ★ 【表7】

表7 実施例4で用いた試験材の化学成分(重量%)

試料 番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Fe
23	0.18	0.23	-	-	2.44	1.05	1.93	0.26	-	残り
24	0.26	0.07	-	0.25	1.47	0.55	2.40	0.24	-	残り
25	0.25	0.07	0.22	-	1.47	0.55	2.39	0.25	-	残り
26	0.26	0.05	-	-	1.46	0.54	2.40	0.25	-	残り

【0048】

【表8】



表8 実施例4における試験材の機械的特性及びクリープ破断特性

試料番号	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	シャルピー 衝撃吸収 エネルギー (kgf-m)	600℃- 15kgf/mm <sup>2</sup> クリープ破断時間 (h)
23	68.9	6.9	6021
24	69.3	7.1	6831
25	70.0	6.8	6540
26	70.5	6.2	6995

\* \* [表9]

【0049】

表9 実施例5で用いた試験材の化学成分(重量%)

試料 番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ta	N	B	Fe
27	0.17	0.21	0.80	0.20	2.44	1.04	1.92	0.26	0.06	-	-	0.004	残り
28	0.18	0.20	0.81	0.21	2.42	1.00	1.92	0.20	0.04	0.05	0.03	-	残り
29	0.25	0.05	0.19	0.23	1.39	0.49	2.37	0.24	0.08	-	-	0.003	残り
30	0.25	0.05	0.20	0.23	1.45	0.50	2.41	0.22	0.05	0.04	-	0.004	残り
31	0.24	0.09	0.50	0.21	1.39	2.04	1.30	0.23	-	-	0.03	-	残り
32	0.25	0.07	1.19	0.22	1.40	2.06	1.32	0.24	-	0.04	-	0.005	残り
33	0.25	0.06	0.22	-	1.45	0.50	2.39	0.22	0.06	0.04	-	0.004	残り
34	0.26	0.08	-	-	1.44	0.55	2.40	0.23	0.05	0.05	0.03	-	残り
35	0.25	0.07	-	-	1.44	0.54	2.36	0.24	-	0.04	-	0.005	残り

※ ※ [表10]

【0050】

表10 実施例5における試験材の機械的特性及びクリープ破断特性

試料番号	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	シャルピー 衝撃吸収 エネルギー (kgf-m)	600℃- 15kgf/mm <sup>2</sup> クリープ破断時間 (h)
27	70.4	7.0	5936
28	68.8	6.4	6031
29	69.0	6.5	6643
30	71.2	6.0	7204
31	71.5	5.3	5587
32	70.0	4.1	5754
33	68.7	5.9	6908
34	69.4	5.5	7511
35	70.5	5.7	7160

【0051】

【発明の効果】本発明の低合金耐熱鋼は、従来材のCrMoV鋼に比べて同等以上の靱性を有し、かつ高温強度特性に優れた新しい低合金耐熱鋼であり、特に高温用蒸気タービンロータ材として優れた性能を有している。ま

た、本発明の蒸気タービンロータは、優れた高温強度及び靱性を有しており、これにより、低コストで高効率の発電プラントの建設が可能となり、化石燃料の節約に寄与するとともに二酸化炭素の発生量を抑制するうえで有用である。

## 【手続補正書】

【提出日】平成8年12月18日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0018】タングステン：タングステンはマトリック

ス中や炭化物中に固溶してクリープ破断強度を改善する。添加量が0.1%未満であれば顕著な効果は期待されない。一方、過剰に添加すると偏析する恐れがあり、韌性が低下するとともにコスト高を招くため添加量の上限を2.5%に制限している。望ましい添加量は1.0%～2.0%である。

---

フロントページの続き

(72)発明者 鎌田 政智

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内

(72)発明者 藤田 明次

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内